

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- ⑥ • BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002年1月17日 (17.01.2002)

PCT

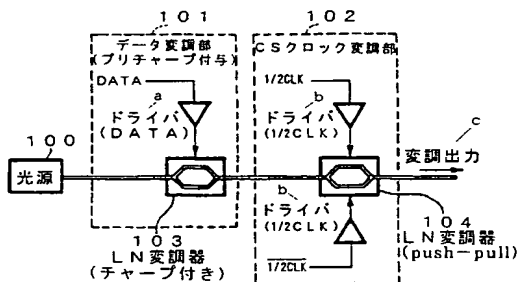
(10) 国際公開番号
WO 02/05464 A1

- (51) 国際特許分類: H04B 10/18, 10/02, G02F 1/01 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/05763 (72) 発明者; および
- (22) 国際出願日: 2001年7月3日 (03.07.2001) (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 矢野 隆 (YANO, Yutaka) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 丸山隆夫 (MARUYAMA, Takao); 〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-38-23 SAMビル3階 丸山特許事務所内 Tokyo (JP).
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): US.
- (30) 優先権データ:
特願2000-205458 2000年7月6日 (06.07.2000) JP

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL TRANSMITTER AND OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM HAVING THE SAME

(54) 発明の名称: 光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システム



(57) Abstract: An optical transmitter of CS-RZ modulation for further increase the SPM-GVD resistance and an optical fiber transmission system having the same are disclosed. The optical transmitter comprises a carrier source, a data modulating section for intensity-modulating the carrier with a data signal, a clock modulating section for amplitude-modulating the carrier so that the phase of the carrier is inverted for every one-bit slot of the data signal. The optical transmitter is characterized in that the carrier is given a prechirp by the carrier source or the data modulating section.

(57) 要約:

- 100...LIGHT SOURCE
101...DATA MODULATING SECTION (PRECHIRP IS GIVEN)
a...DRIVER (DATA)
103...LN MODULATOR (WITH CHIRP)
102...CS CLOCK MODULATING SECTION
b...DRIVER (1/2CLK)
c...MODULATED OUTPUT
104...LN MODULATOR (PUSH-PULL)

SPM-GVD耐力をさらに増すためのCS-RZ変調方式の光送信装置光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システムを提供する。

搬送波源と、データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、前記データ信号の1ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、を備える光送信装置において、前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

1

明細書

光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システム技術分野

この発明は、光ファイバ伝送システム及びそれに用いられる光送信装置に関する。

従来技術

(S P M－G V D劣化)

今日の光ファイバ通信システムでは、信号光の強度にデジタル情報を載せ、光検出器で直接に強度を検出する強度変調－直接検波方式が一般的に用いられており、さらに波長多重を用いて容量の拡大が行われるに至っている。この伝送システムにおいては、光ファイバ中の波長分散 (G V D : Group Velocity Dispersion) と、光ファイバ中で生じる非線形光学効果の一つの自己位相変調効果 (S P M : Self Phase Modulation) が組み合わさって引き起こす、S P M－G V D効果と呼ばれる現象による波形歪みが伝送品質劣化の主要因の一つである。S P M－G V D効果をはじめとする非線形光学効果による劣化は、光ファイバ中の信号光パワーが高いほど生じやすい。

(光 S N R劣化と、中継器出力パワーのトレードオフ)

もう一つの主劣化要因は、光 S N R劣化と呼ばれる、光増幅中継に伴う光ノイズの蓄積である。この劣化現象は、光増幅中継器への入力パワーが低いほどひどくなる。従って、中継器間隔のロスが定数であるとする、中継器の出力パワーには最適値が存在することになる。符号誤り率 (B E R) で伝送システムの性能を表現するとすれば、中継器出力パワーが過大であると非線形光学効果によって B E Rが悪化し、過小であると光 S N R劣化によって B E Rが悪化する。このように中継器出力パワーには、傾向が反対な二つの制約要因があるため、そのトレードオフ関係を如何に緩和し、許容しうる中継区間ロスを如何に増やすか、が技

術課題となっている。

(チャープ)

光通信分野では、搬送波（光）の強度変化に応じた位相変調をチャープと呼ぶ。SPMもチャープであり、その方向は、光ファイバを初めとするほとんどの媒質ではk e r r 係数 $n_2 > 0$ 、つまり瞬時強度が大きいほど搬送波の位相が遅れる方向である。そこで以下ではSPMの位相シフト方向を基準にして、SPMと同方向か、逆方向か、でチャープの向きを表すことにする。送信器において“予め”付与するチャープのことをプリチャープと呼ぶ。

光伝送技術の発展の過程において、プリチャープは当初、分散補償技術の一つとして研究された。（例えばSaito et al., "Prechirp Technique for Dispersion Compensation for a High-Speed Long-Span Transmission", Photon. Technol. Lett., p.74, 1991）。当時は優れた分散補償デバイスがなかったため、波長分散（GVD）の蓄積による波形歪みに対抗する手段の一つとして、プリチャープが検討されたのであるが、その後の、分散補償ファイバなどの優れた分散補償デバイスの登場で、プリチャープによる分散補償は用いられなくなった。

(現実のファイバ分散値とSPM-GVD効果)

SPM-GVD劣化の程度は、光ファイバ伝送路の持つ波長分散値によって違いがある。光ソリトン伝送のメカニズムとして良く知られているように、光パルスが異常分散中を伝送中にSPMチャープが生じるとパルスが圧縮される。圧縮によってパルス形状が鋭くなると、さらにSPMが生じやすくなる。反対に正常分散の下で伝搬するとSPMチャープはパルスを広げてなるので、SPMの発生が抑えられる。従って、（ソリトン伝送のようにSPMによるパルス圧縮効果を積極的に使うのでない限りは、）正常分散を持つ伝送路の方がSPM-GVD劣化を生じにくい。

ところで、近年急速に商用導入が進んでいる波長多重による大容量化技術（WDM ; Wavelength Division Multiplexing）では、光ファイバの非線形現象

3

を通じて起こるチャネル間のクロストークが問題となっている。このクロストークを抑える有効な手法として、光ファイバの分散値を大きくして、波長チャネル間の伝搬速度に大きな差を持たせる方法が一般に用いられている。

現在光伝送システムで最もよく利用されている $1.55\ \mu\text{m}$ 帯付近において、シリカ (SiO_2) ガラスファイバは異常分散（短波長ほど伝搬速度が速い）の材料分散を持つ。その値は $+17\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度であり、この材料分散特性をそのまま保持した光ファイバは SMF と呼ばれる（ITU-T 勧告 G.652）。これに対して分散シフトファイバと呼ばれる、構造分散で大きな正常分散を作り出して材料分散を打ち消した光ファイバも実用化されている。しかし打ち消すのがせいぜいであり、全体として大きな正常分散値を持たせるのは技術的に困難である。また構造分散で大きな正常分散を作り出そうとすると、光ファイバの断面積が小さくなり、非線形光学効果が起きやすくなってしまうという問題も浮上する。

以上まとめると、SPM-GVD 劣化抑圧の観点からは、伝送路ファイバの分散値は正常分散が望ましいが、一方、波長多重に必要な大きな分散値を備える光ファイバは異常分散ファイバである SMF に限られるため、SPM-GVD 劣化に対する対策がより重要になる。

（二光束干渉計型光変調器の動作）

本発明の実施形態で多用する LN 変調器について説明する。この変調器は図 10 にあるような二光束干渉計（Mach-Zehnder 干渉計）の構造をしている。各アームの位相変調部で駆動信号に応じた位相シフトを受けた二つの光波が干渉し、出力信号光となる。

その様子をフェーザーで表したものが図 11 である。原点（図中央）からの距離が振幅を表し、位相遷移量は、実軸（real）の正の方向をゼロとして、そこからの回転量で表している。位相遅延は時計回り方向としている。 $a_{r m 1}(t)$ と $a_{r m 2}(t)$ の光が細い矢印で、それらの合成ベクトルである干渉出力光 $S(t)$ が太い矢印で描かれている。状態の遷移を $t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3$ というように辿りながら説明する。出発点である t_1 の時点では $a_{r m 1}(t_1)$ と $a_{r m 2}(t_1)$ のベクトルは揃い、合成ベクトル $S(t_1)$ は最大、つまり変調器

全体としてはパワー透過率最大の状態となっている。

図11(a)はPush-Pull駆動型のチャープレス変調動作を説明する図である。arm1とarm2は互いに相補的な一对の電気信号で駆動されている。相補的な一对の電気信号とは、2つの電気信号の和が常に一定という意味であり、実際の生成手段としては、反転増幅器を用いたり、クロック信号のように狭帯域な場合は遅延線を用いることによって、極性の反転した一对の電気信号を得ることができる。

この駆動方法によって、両armの光はバランスを保ちながら遷移するので、合成ベクトルは実軸上を遷移し、位相回転(=チャープ)は生じない。各armが0から $\pi/2$ (rad)まで位相シフトすると($t1 \rightarrow t2$)、合成ベクトル $S(t2)$ はゼロに至る。この図ではさらに π (rad)まで位相シフトした時の状況も示してある。 $\pi/2$ を過ぎると光パワー透過率は再び増加し、最終的には、強度は元と同じで位相が反転した位置に遷移する $S(t3)$ 。

図11(b)は図11(a)のarm1だけを0から π (rad)まで位相シフトして光パワー透過率を最大から最小まで遷移させた時の様子である。この図では遷移の途中時点 $t2$ も一点描いている。この場合、合成ベクトルは円弧を描いてゼロに向かうようになり、強度に応じた位相回転すなわちチャープを伴う。このようにarm1とarm2の位相シフト量の比が1でない場合、チャープが生じる。

図11(c)はarm1とarm2の位相シフト量の比が図11(a)と図11(b)の中間の場合である。

このように各armにかかる位相シフト量の比がチャープを決めることが分かる。次に実際の LiNbO_3 (LN)変調器で位相シフト量の比がどのように制御されているかを図12で説明する。図12はLN基板上に作られたMach-Zehnder干渉計の図10の(A)線の位置での断面模式図である。LNは結晶方位に関して、Z軸がX、Y軸に比べて高い電気光学係数を持っているため、一般的には変調電界がZ軸方向にかかるように構成される。

図12(a)は従来のCS-RZ送信器で用いられている「Z軸-cut、X(Y)軸伝搬(二信号駆動型)」変調器の構造である。図10にあるとおり、二

5

つの arm に互いに独立な位相シフトを行う自由度を持つ。従来の CS-RZ 送信器では、これら二つの arm に、互いに相補的な信号を入力することによって、図 11 (a) のようなチャープレスの変調を実現している。

図 12 (b) は今日商業的に最も多量に使用されている「Z 軸-cut、X (Y) 軸伝搬 (一信号駆動型)」変調器の構造である。この構造では GND 極の下にある導波路に、HOT 極と反対向きの電界が一部印加される。両アームの位相シフトは、振幅はアンバランスながら互いに逆相となるため、図 11 (c) のような変調動作となる。この構成の場合、出力光には強度変調に伴う位相シフト (チャープ) が付与されることになる。

従来の LN 変調器の一般的な使用形態は、この変調器を光パワー透過率最大から最小まで推移するように駆動するものであった。この構成が好まれる主な理由は、図 12 (a) の構造で図 11 (b) のように変調するのに比べて、光パワー透過率を最大から最小まで推移させるのに要する駆動信号振幅 (V_{π} と呼ばれる) が少なくすむからである。

図 12 (c) は「X (Y) 軸-cut、Y (X) 軸伝搬 (一信号駆動型)」変調器の構造である。ここで「X (Y) 軸-cut、Y (X) 軸伝搬」は、「X 軸-cut、Y 軸伝搬」もしくは「Y 軸-cut、X 軸伝搬」を意味している。この構成では駆動信号が一つでも二つの arm には互いに相補的な位相シフトを行うことができる。すなわち図 12 (a) と同様にチャープレスな変調が行える。ただし 2 つの arm で独立した位相シフトを行うことはできない。

(CS-RZ)

SPM-GVD による波形劣化の程度は、変調方式によって違いがある。SPM-GVD 劣化が生じにくい変調方式として、NTT の宮本らが CS-RZ (Carrier-Suppressed Return-to-Zero) 方式を提案している ("320 Gbit/s (8×40 Gbit/s) WDM transmission over 367-km zero-dispersion-flattened line with 120-km repeater spacing using carrier-suppressed return-to-zero pulse format", Y. Miyamoto et.al, Optical Amplifiers and its Applications 1999, PDP)。

6

図13にその変調器構成を示す。全体はデータ変調部131とクロック変調部132に分かれている。それぞれ光変調器として2つの駆動信号を要するPush-Pull駆動型の LiNbO_3 (LN) 変調器が用いられている。これらのLN変調器は、一対の相補的な電気信号で駆動されることによってチャープレスの光変調信号を出力する。

データ変調部131では、LN変調器は一対の相補的なNRZ (Non-Return to Zero) 符号のデータ信号で駆動されている。

クロック変調部132では、LN変調器は一対の相補的なクロック信号で駆動され、かつ、その周波数はビットレートの半分に設定されている。例えば40Gb/sの場合、駆動信号は20GHzのクロック信号である。以下では便宜的にビットレート周波数のクロック信号をCLK、ビットレート周波数の半分の周波数のクロック信号を $1/2\text{CLK}$ と図示する。

このクロック変調部132に用いるLN変調器のバイアス点すなわち入力0Vの時の設定は、光がoffになる点とする。従って変調作用は図14に示すようになる。簡単のため光入力がCW (continuous wave) 光の時を考えると、変調出力光は、パワーで見ると、光クロックパルスの周波数が入力クロック周波数の倍になっており、かつ、位相が1ビット毎に反転していることが分かる。この光クロック信号のスペクトルを見ると搬送波が抑圧されているため、これをCS (Carrier-Suppressed) クロック信号と呼ぶ。

これらNRZデータ変調部131とCSクロック変調部132を直列接続することによって両者の論理積が取られ、この1ビット毎に位相が反転したクロックパルス列に対して、パルス有無によるデジタル情報が載る。図13ではデータ変調の後にCSクロック変調が行われているが、この順序は逆でも結果として得られる変調光は同じである。

CS-RZ変調信号は、1、0、-1の3つのシンボルを持つ。ここで信号振幅は1に規格化しており、1と-1は位相が反転していることを意味している。この信号を光検出器を用いて直接検波 (二乗検波) すると1と-1は同一視されて元の2値信号が得られる。

このCS-RZ変調方式は、通常のRZ変調方式に比べてSPM-GVD劣化

を起こしにくい。以下ではSPM-GVD波形劣化に対する耐力をSPM-GVD耐力と呼ぶ。

CS-RZ変調方式の送受信機の構成は、従来のRZ変調方式送受信器との構成の差違が少ないため、装置化技術に大きな飛躍がなく、導入しやすいという特長を持つ。

発明が解決しようとする課題

従来のCS-RZ変調方式でも通常のRZ変調方式に比べてSPM-GVD耐力は増すが、さらなる向上が望まれる。そこで本発明は、SPM-GVD耐力をさらに増すためのCS-RZ変調方式の光送信装置及びそれを有する光ファイバ伝送システムを提供することを目的とする。

発明の開示

本発明による光送信装置は、搬送波を生成する搬送波源と、データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、前記データ信号の1ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、を備える光送信装置において、前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする。

また、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記プリチャープの向きが、伝送路光ファイバ中で生じる自己位相変調効果によるチャープの向きの反対向きであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ信号の波形がNRZ変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ信号の波形がRZ変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ変調部が、チャープ付与型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器がLiNbO₃基板上に集積されていることを特徴と

する。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が光半導体基板上に集積されていることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記データ変調部が、チャープ付与型電界吸収型（E A）強度変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記クロック変調部が、Push-Pull型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、 LiNbO_3 基板上に集積されていることを特徴とする。

更に、本発明による光送信装置は、上記の光送信装置において、前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、光半導体基板上に集積されていることを特徴とする。

本発明による光ファイバ伝送システムは、上記の光送信装置と、前記光送信装置から射出した光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバ間で光を中継する光増幅中継器と、前記光ファイバで伝送された光を受信する光受信装置と、を備える光増幅中継伝送システムであって、前記光ファイバの信号光波長における局所的な波長分散が非零であり、かつ、前記光送信装置から前記光受信装置までの累積波長分散量がおよそ零となるように制御されている分散アレンジ伝送路を用いたことを特徴とする。

作用

本発明は、上記のような改善を得るために、データ変調部において強度変化に応じた位相変調（プリチャープ）を付加することを特徴とする。今日WDM（Wavelength Division Multiplexing）通信用ファイバとして一般的になりつつある比較的大きな分散値を持つ伝送路においては、データ変調部においてSPMと反対向きのプリチャープを付加するとSPM-GVD耐力が向上することを

、伝送シミュレーションを用いて見出した。ただし、CSクロック変調部でのプリチャープはSPM-GVD劣化を増長してしまい好ましくないことも見出した。従って改良した構成は、CSクロック部は従来技術の構成と基本的には変えず、データ変調部をチャープ付加型に置き換えたものである。以下ではデータ変調部の変調フォーマットとしてNRZ変調方式を用いた時の例で作用を説明するが、RZ変調方式フォーマットでもよい。

データ変調部とCSクロック変調部とで、プリチャープの作用が異なることを以下に説明する。各種のプリチャープを付加した状態を、図11と同様にフェーザーダイアグラムで表したのが図15である。この図では変調出力光のベクトル軌跡のみをプロットしている。黒い丸はビットスロットの中央時点を表す。LN変調器のチャープは強度に比例した位相シフトであるので、この図ではベクトル軌跡は円弧として描かれる。

図15(a)は、従来のCS-RZ変調方式信号である。CS-RZ変調方式では1と-1のシンボルを持っており、かつ、チャープは付与されていないことが確認できる。

図15(b)は、CS-RZ変調方式のNRZ変調部において、SPMと反対向きのプリチャープを付与するように駆動したLN変調器によってNRZ変調した場合である。この信号では、振幅の遷移が $1 \rightarrow -1$ もしくは $-1 \rightarrow 1$ の場合にはチャープが付与されず、 $0 \rightarrow \pm 1$ 、 $\pm 1 \rightarrow 0$ の時のみプリチャープが付与されていることが分かる。チャープの向きが信号光増加に対して位相が進む方向になっていることも確認できる。

図15(c)は、CS-RZ変調方式のCSクロック変調部において、図15(b)と同じLN変調器の駆動法によってCSクロック変調した場合である。この信号では、光振幅が $0 \leftrightarrow 1$ を遷移する時のチャープの向きと $0 \leftrightarrow -1$ を遷移する時のチャープの向きが反対になってしまうことが分かる。これではSPM-GVD耐力の向上が期待できない。さらにはフェーザーダイアグラムが原点对称形から外れていることから分かるように、振幅の正負に偏りが生じて搬送波が十分抑圧されなくなる。

以上から、CS-RZ変調方式に対してプリチャープを付与しようとする場合

、データ変調部にて付与するのが理想的であり、CSクロック変調部ではチャープを付与しない方が望ましいことが理解される。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施形態による光送信装置の構成図である。

図2は、本発明の第2の実施形態による光送信装置の構成図である。

図3は、本発明の第3の実施形態による光送信装置の構成図である。

図4は、本発明の第4の実施形態による光送信装置の構成図である。

図5は、本発明の実施形態の効果をシミュレーションするための伝送システムのモデルのブロック図である。

図6は、本発明の第1から第4の実施形態による改善効果を説明するための、中継器出力パワー対アイ面積ペナルティ特性を示すグラフである。

図7は、図6の中継器出力パワーが+9 dBmであるときの各変調方式についての伝送後アイパターンであり、(a)はRZ変調方式、(b)はCS-RZ変調方式、(c)はチャープ付与型CS-RZ方式についてのものである。

図8は、本発明の改善効果を説明するための、正常分散ファイバについての中継器出力パワー対アイ面積ペナルティ特性を示すグラフである。

図9は、本発明の改善効果を説明するための局所分散値対中継器出力上限値特性を示すグラフである。

図10は、二光束干渉型光変調器の構成を説明する図である。

図11は、二光束干渉型光変調器の動作をフェーズで説明する図である。

図12は、LN光変調器の構成を説明する断面図である。

図13は、従来例によるCS-RZ変調送信器の構成図である。

図14は、CSクロック変調部のLN変調器の動作を説明する図である。

図15は、各種のプリチャープを付与したCS-RZ変調方式についての変調出力光のベクトル軌跡を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[実施形態1]

図1は、本発明の第1の実施形態を示す。光源100である波長 $1.55\mu\text{m}$ の半導体レーザからの出射光は、まずデータ変調部101内のチャープ付与型のLN変調器103でNRZ変調される。次にCSクロック変調部102のPush-Pull型のLN変調器104でCSクロック変調される。チャープ付与型のLN変調器103として図12(b)の構造を持つ変調器を用いた。

従来のCS-RZ変調方式では、データ変調部にチャープレスな変調が可能な2入力型のPush-Pull型のLN変調器133を用いている。これに対して本発明ではチャープを付与するLN変調器103を用いている点が異なる。また副次的なメリットとして、従来技術では2入力型のPush-Pull型のLN変調器133を駆動するために一对の相補的な駆動信号が必要であったが、一般的なチャープ付与型のLN変調器103は一入力なので、駆動信号まわりが単純化され、低コスト化も図ることができる。

ところで、従来のCS-RZ変調方式ではデータ変調部131はNRZ変調方式フォーマットの電気信号で駆動されていた。データ変調部131の変調フォーマットがNRZ変調方式であっても、CSクロック変調によって最終的な光出力はRZ変調方式になる。しかしながら本発明のデータ変調部101の変調フォーマットがNRZ変調方式に限られる訳ではなく、RZ変調方式フォーマットでも有効である。つまりデータ変調部101のLN変調器103の駆動信号として、RZ変調方式フォーマットの電気信号を用いてもよい。

[実施形態2]

図2は、本発明の第2の実施形態を示す。第1の実施形態との違いは、データ変調部201にEA変調器203を用いている点である。EAはElectro-Absorptionの略で、電界吸収型変調器とも呼ばれる。このデバイスは、光半導体のバンドギャップを印加電界によって変化させ、それによる吸収端波長の変化を利用した、光シャッターである。

EA変調器203では、一般に、電界をかけて吸収量を変化させると、同時に屈折率も変化する。そのため、そこを通過する光は位相変調すなわちチャープを被る。EA変調器203のチャープの向きは、駆動信号に重畳する逆バイアス電

圧によって変化する。一般に、バイアス電圧が小さい時はSPMと反対向き、バイアス電圧が大きい時はSPMと同じ向きへと連続的に変化する。ただし通常、バイアス点は出力信号光が良好に強度変調されるように調整するため、任意に設定できるものではない。現在一般的なEA変調器の標準的なバイアス電圧におけるチャープの向きはSPMと反対向きであり、今日WDM通信用ファイバとして一般的になりつつある比較的大きな分散値を持つ伝送路に本発明を実施する場合に都合がよい。

EA変調器203は、光源100である半導体レーザと組成や製法が似ているため、一括して集積した形で製造できる。そのような変調器一体型の光源は既に実用化されており、光送信器の低コスト化、小型化に大きく寄与している。第2の実施形態では変調速度が40Gb/sと高速であるため、変調器203と光源100が一体化されたものは入手できず、分離されたものを用いたが、将来は集積化可能な構成である。

なお、EA変調器203の場合も、本発明の駆動データ信号は、NRZ変調方式だけでなく、RZ変調方式フォーマットでも有効である。

〔実施形態3〕

図3は、本発明の第3の実施形態を示す。第1、第2の実施形態では、CSクロック変調部102で必要とするチャープレス型の光変調器として、2つの電気信号入力を必要とするPush-Pull型のLN変調器104を用いている。これに対して本実施形態では、電気信号入力が1つでも、Push-Pull動作可能なLN変調器304を用いている。これにより、一对の相補的な駆動信号の位相差や振幅を揃える煩わしさが消えて、低コスト化を図ることができる。

一つの電気信号入力でPush-Pull動作できるLN変調器304は、図12(c)に示すように入力信号によって生ずる電界が、干渉計の2つのアームで逆相に印加されるように配置されているため、一つの駆動信号入力でPush-Pull動作が実現できる。第1、第2の実施形態で用いたような2入力型のLN変調器104は、2つの入力信号で2つのアームに異なる位相変調を別々に施すことができるので、Push-Pull駆動以外にも自由な組み合わせの変調が可能である。しかし、

互いに反転した位相変調がかかればよいPush-Pull駆動に用途を限定すれば、このように構成を大幅に簡単化できる。

図12(c)に示すような「X(Y)軸-cut、Y(X)軸伝搬」基板による一入力型のチャープレス変調器はこれまでも知られていたものの、LN基板の製造の難しさなどから商業的にはあまり用いられず、主に図12(a)、(b)に示した「Z軸-cut、X(Y)軸伝搬」基板が用いられている。またCSクロック発生用に「X(Y)軸-cut、Y(X)軸伝搬」基板による一入力型のチャープレス変調器を用いることもこれまで行われていない。

この一入力型チャープレスLN変調器304によるCSクロック変調部302と一入力型チャープ付きデータ変調部(例えば図1中のLN変調器103、図2、3中のEA変調器203)の組み合わせは、必要とされる駆動信号の数がDATA信号1つ、クロック信号(ビットレートの半分の周波数)1つと最もシンプルであり、調整箇所が少なくてすむため実用性が高い構成である。

[実施形態4]

図4は、本発明の第4の実施形態を示す。RZ変調方式フォーマットにするための、ビットレート周波数のクロック信号で駆動されるEA変調器403が追加されていることが特徴である。

第1～第3の実施形態では、データ変調部出力の変調フォーマットをRZ変調方式としたい場合、データ電気信号自体をRZ変調方式フォーマットにしていたが、このようにデータ変調用の変調器203とクロック変調用の変調器403に役割を分けてもよい。

RZ変調方式フォーマットの電気信号波形は振幅方向に上下非対称で、かつNRZ変調方式フォーマットよりも広帯域になるので、電気回路の実現がやや難しいという問題があるが、この構成により解消できる。またRZ変調方式化するための変調器403を別途備えることによって、パルス幅やパルス形状などの選択自由度が広がるという特徴もある。また実施形態4のように、専らRZ変調方式化を受け持つ変調器403を備える場合にその変調器でSPMと反対向きのチャープを与えてもよい。

以上説明した実施形態1～4によって得た、改良されたCS-RZ変調信号を用いて伝送特性がどの程度改善されるかを次に説明する。

以下の例は、ビットレート40Gb/s、信号光波長1.55 μ m、伝送距離80km中継×6スパンの光伝送システムに、本発明を適用したものである。図5に伝送システムのブロック図を示す。伝送路は、伝送路ファイバ502としてSMF、中継器503内での分散補償デバイスとして分散補償ファイバ505を用いた分散アレンジ伝送路である。これにより、信号光波長における波長分散は、局所的には非零だが、送信器501から受信器504までの全体の蓄積分散量はほぼゼロになっている。伝送路はSMF80km×6中継で、全480kmである。中継器503内の分散補償ファイバ505に入力するパワーはSMF入力パワー（横軸）の10dBダウンとした。

以下に、SPM-GVD現象を忠実に再現できる計算機シミュレーションで得た結果を用いて効果を説明する。図6は各変調方式における中継器出力対波形歪みの調査結果である。横軸は中継器出力パワー（dBm）、縦軸は送信器直後を基準としたアイの開いている面積である。凡例のCS-RZ(0)、CS-RZ(p)、CS-RZ(m)はチャープ種類を表しており、CS-RZ(0)はチャープなし（従来技術）、CS-RZ(p)はSPMと反対方向のチャープ付き、CS-RZ(m)はSPMと同方向のチャープ付きを意味している。

中継器出力が高くなるとSPM-GVD劣化によってアイが潰れていく様子が分かる。変調方式による違いを見ると、最も劣化し易いのはRZ変調方式であり、次に、CS-RZ(m)変調方式、CS-RZ(0)変調方式、本発明により改良されたCS-RZ(p)変調方式の順に続く。

図7(a)はRZ変調方式について、図7(b)はCS-RZ(0)変調方式について、図7(c)はCS-RZ(p)変調方式についての+9dBm時のアイパターンである。RZ変調方式からCS-RZ変調方式にすることで大幅な改善があり、さらにデータ変調部にてSPMと反対向きのチャープを付与することによって、0レベルのざわつきが改善されることが分かる。許容しうるアイ面積劣化を2dBとすると、送出上限パワー値は、RZ変調方式からCS-RZ変調方式にすることによって約1.6dB、さらにチャープ付与型CS-RZ変調方

式にすることによって約0.4 dB改善している。RZ変調方式からチャープ付与型CS-RZ変調方式にすることによる改善量は計約2 dBであり、これは約10 kmの伝送ロスに相当し、伝送距離割合にして12.5%の伸張に相当する。

確認のために、チャープの向きをSPMと同方向にしたときの結果も示してある。SPMと同方向ではチャープレスよりも劣化しやすくなってしまうことが分かる。

図8は、図6と同じことをファイバの分散の極性を反対にした場合について計算した結果である。このようなファイバは現実にはないが、シミュレーションによる思考実験は可能である。図6と比べるとどの変調方式も劣化が少なく、その分、チャープ付与型CS-RZ変調方式のCS-RZ変調方式に対する改善量も少ない。このことから本発明は、特に、非線形現象が生じる伝送ファイバの分散値が異常分散の場合に、効果がより大きいことが分かる。なおこの場合もチャープの向きはSPMと反対方向のチャープがよいことが分かる。

以上の局所分散値 ($\pm 16 \text{ ps/nm/km}$) では、最適なチャープの向きはSPMと反対方向であったが、これ以外の分散値での結果を図9に示した。凡例のCS-RZ(0)、CS-RZ(p)、CS-RZ(m)はチャープ種類を表しており、(0)はチャープなし(従来技術)、(p)はSPMと反対方向のチャープ付き、(m)はSPMと同方向のチャープ付きを意味している。

この図から、特に局所分散値の絶対値が 6 ps/nm/km を越える領域ではCS-RZ変調方式のRZ変調方式に対する改善度が大きいことがわかる。また、その領域のほとんど全てにおいて、SPMと反対方向のチャープを付与したCS-RZ変調方式が最適であることがわかる。

以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明はこれらの構成に限定されるものではなく、各種の組合せや変形が可能である。

まず、データ変調部にはチャープ付与型のLN変調器やEA変調器を用いたが、これ以外にもSPMと反対向きのプリチャープを付与する光強度変調器であれば、どのようなものでも構わない。強度変調する部分と位相変調する部分が別個になった物の組合せでもよい。また半導体レーザ光源の駆動電流にクロック周波

16

数信号を重畳してプリチャープを生じさせる光源の直接変調の技術を用いて光源においてプリチャープを搬送波に付与してもよい。

CSクロック変調部には2つの駆動信号を要するPush-Pull型と1つの信号で駆動できるPush-Pull型のLN変調器を用いたが、これ以外にもチャープを付与せずにビット毎に位相反転が可能な変調器構成があれば、それを用いて構わない。

二光束干渉型変調器を実現する材料として、実施形態ではLNを用いたが、これに限らず、光半導体基板上に導波路と変調器を集積して実現してもよい。実現例は、C.Rolland et.al, "10Gbit/s, 1.56 μ m multiquantum well InP/InGaAsP Mach-Zehnder optical modulator", Electron.Lett., p.471, 1993に開示されるものである。またバルク部品で二光束干渉計と位相変調器を組合せても良い。

実施形態ではデータ変調の後、CSクロック変調しているが、この順序で逆でも同じ結果を得られることは言うまでもない。

CSクロック変調部の駆動信号としては、ビットレートの半分の周波数であれば、その波形は純粋な正弦波に限らず、歪んだ正弦波や矩形波などでも、本質的な作用は損なわれない。

実施形態では伝送波長数は一波であったが、波長多重技術を併用しても本発明の本質的な作用は損なわれない。

実施形態では伝送路ファイバとしてSMFを用いたが、異なる波長分散特性を持つ伝送路ファイバであっても本発明の本質的な作用は損なわれない。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の構成を用いることにより、従来のCS-RZ変調方式よりもさらにSPM-GVD耐力の高い変調信号を得ることができ、SPM-GVDにより性能が制約されている光伝送システムの、伝送距離の伸張や、符号誤り率の改善が得られる。

17

請求の範囲

1. 搬送波源と、
データ信号で前記搬送波を強度変調するデータ変調部と、
前記データ信号の1ビットスロット毎に前記搬送波の位相が反転するように前記搬送波を振幅変調するクロック変調部と、
を備える光送信装置において、
前記搬送波源又は前記データ変調部で前記搬送波にプリチャープを付与することを特徴とする光送信装置。
2. 前記プリチャープの向きが、伝送路光ファイバ中で生じる自己位相変調効果によるチャープと反対向きであることを特徴とする請求項1に記載の光送信装置。
3. 前記データ信号の波形がNRZ (Non-Return to Zero) 変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の光送信装置。
4. 前記データ信号の波形がRZ (Return to Zero) 変調方式のフォーマットのものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の光送信装置。
5. 前記データ変調部が、チャープ付与型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の光送信装置。
6. 前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が LiNbO_3 基板上に集積されていることを特徴とする請求項5に記載の光送信装置。
7. 前記チャープ付与型二光束干渉計型光変調器が光半導体基板上に集積されていることを特徴とする請求項5に記載の光送信装置。

8. 前記データ変調部が、チャープ付与型電界吸収型 (E A) 強度変調器を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光送信装置。

9. 前記クロック変調部が、Push-Pull型二光束干渉計型光変調器を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光送信装置。

10. 前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、 LiNbO_3 基板上に集積されていることを特徴とする請求項 9 に記載の光送信装置。

11. 前記Push-Pull型二光束干渉計型光変調器が、光半導体基板上に集積されていることを特徴とする請求項 9 に記載の光送信装置。

12. 請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光送信装置と、前記光送信装置から射出した光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバ間で光を中継する光増幅中継器と、前記光ファイバで伝送された光を受信する光受信装置と、を備える光増幅中継伝送システムであって、前記光ファイバの信号光波長における局所的な波長分散が非零であり、かつ、前記光送信装置から前記光受信装置までの累積波長分散量がおよそ零となるように制御されている分散アレンジ伝送路を用いたことを特徴とする光ファイバ伝送システム。

1/11

図 1

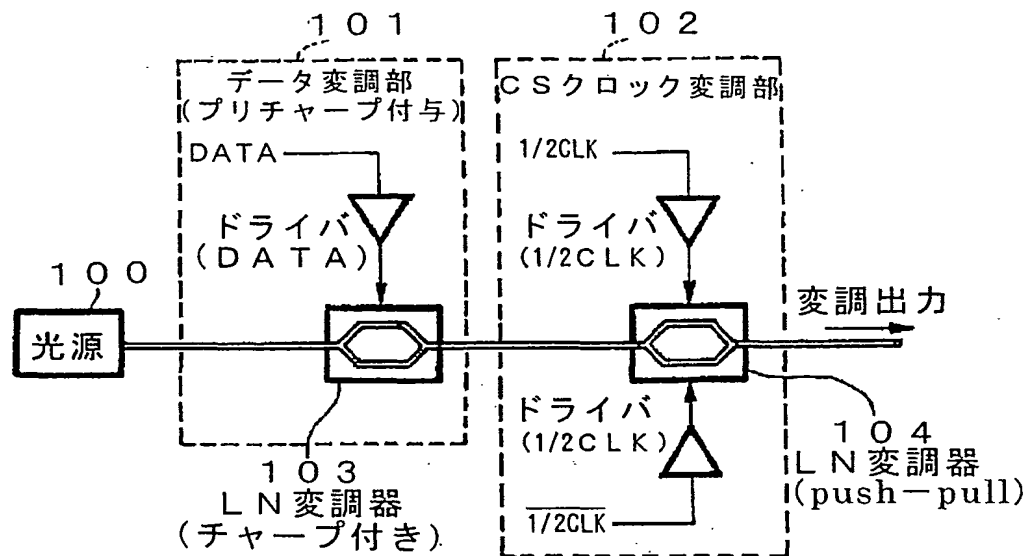
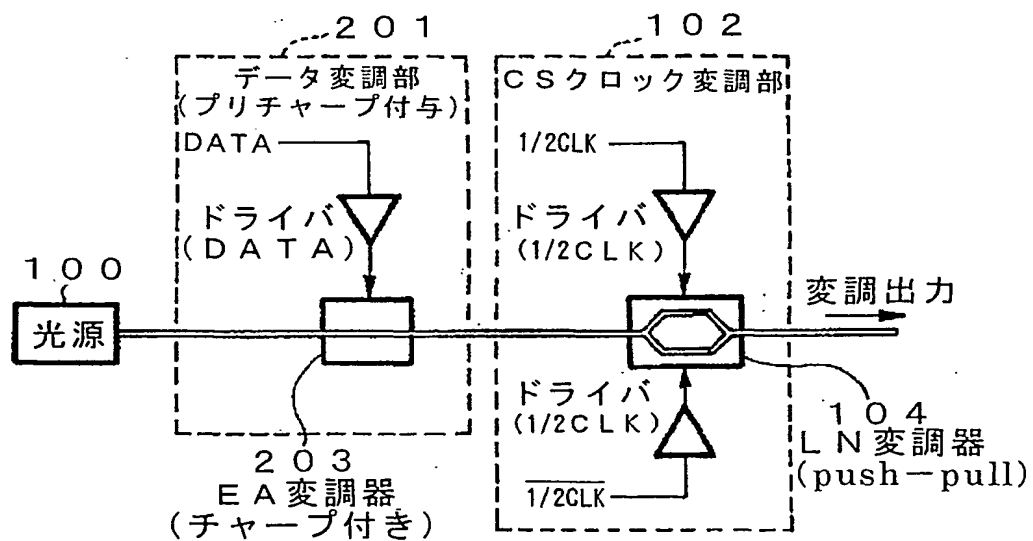


図 2



2 / 11

図 3

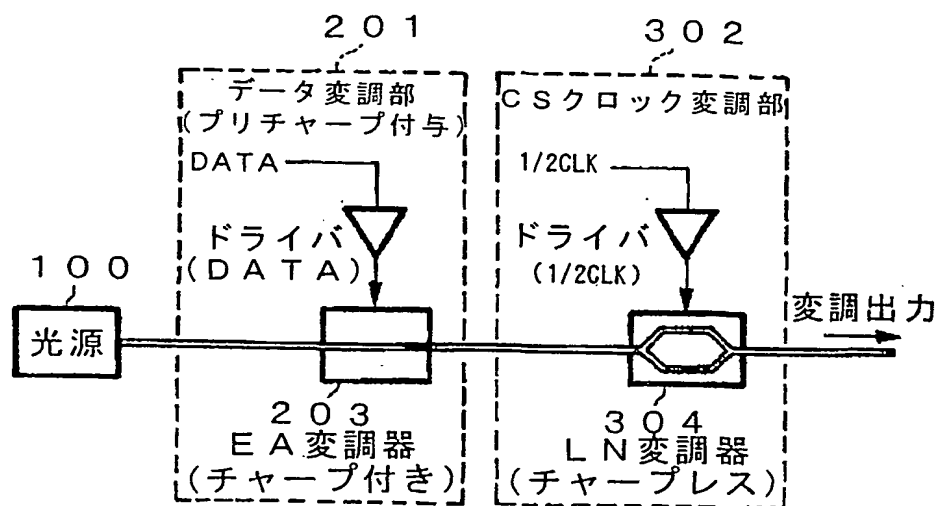


図 4

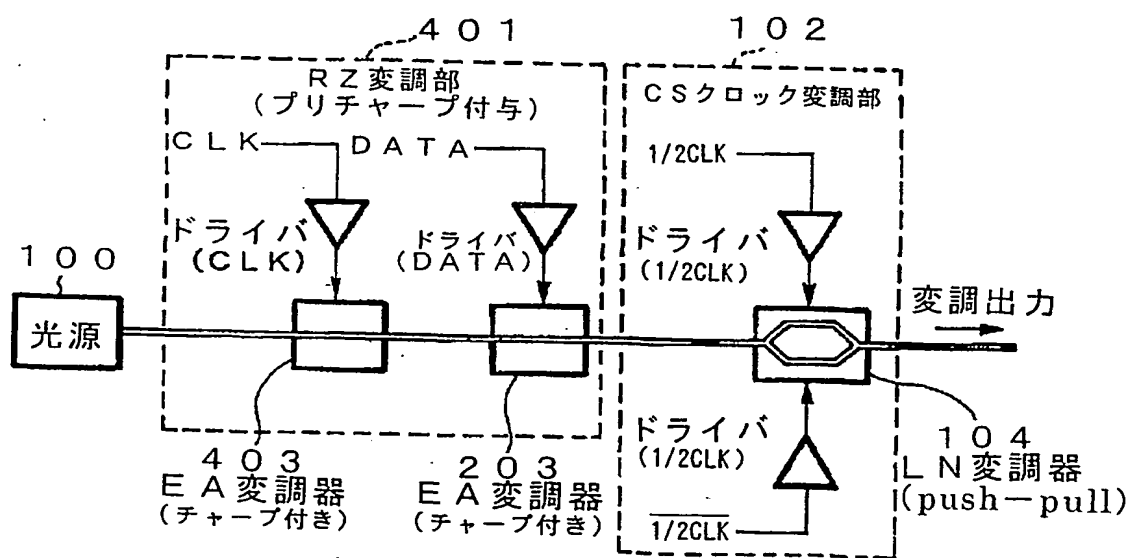
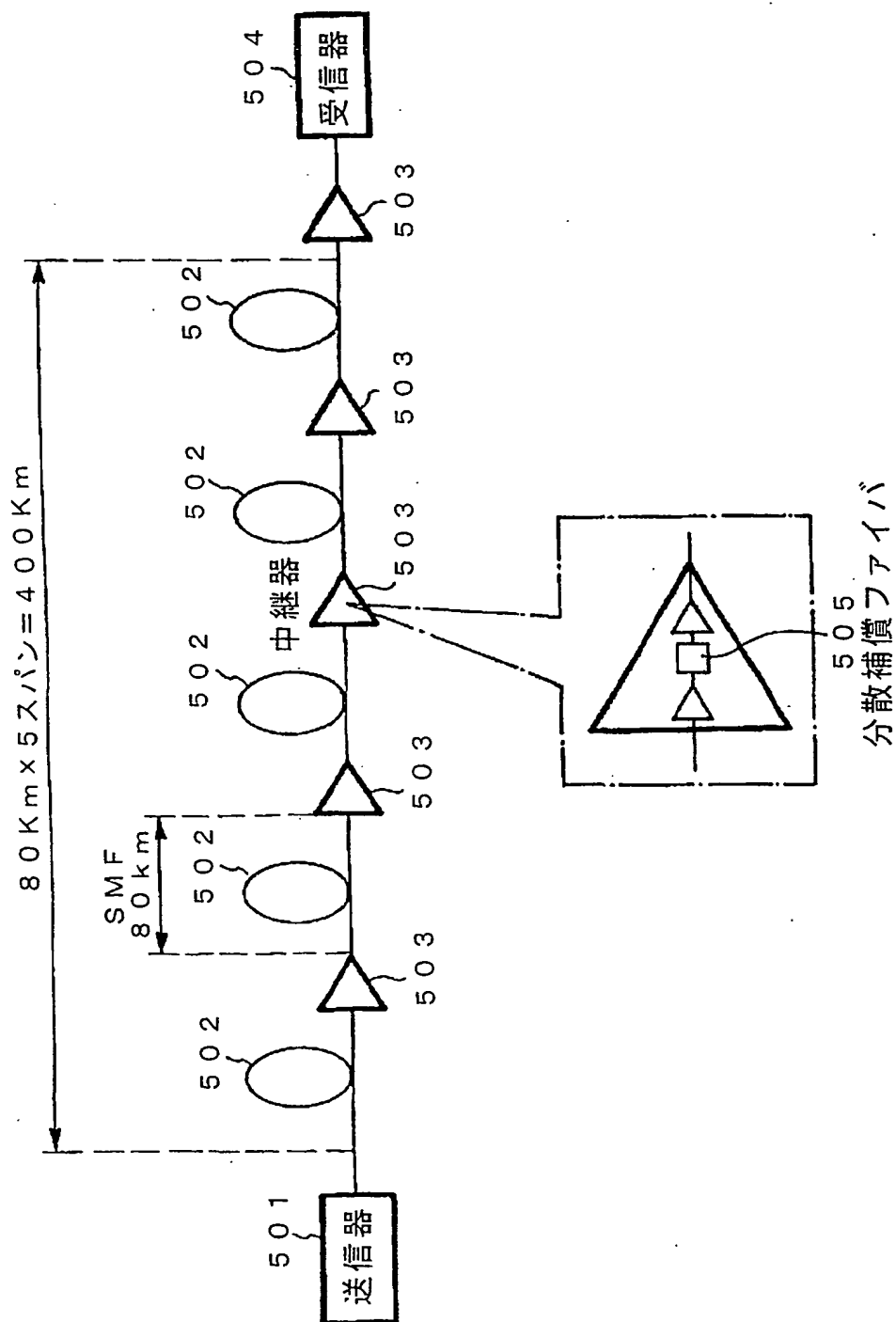
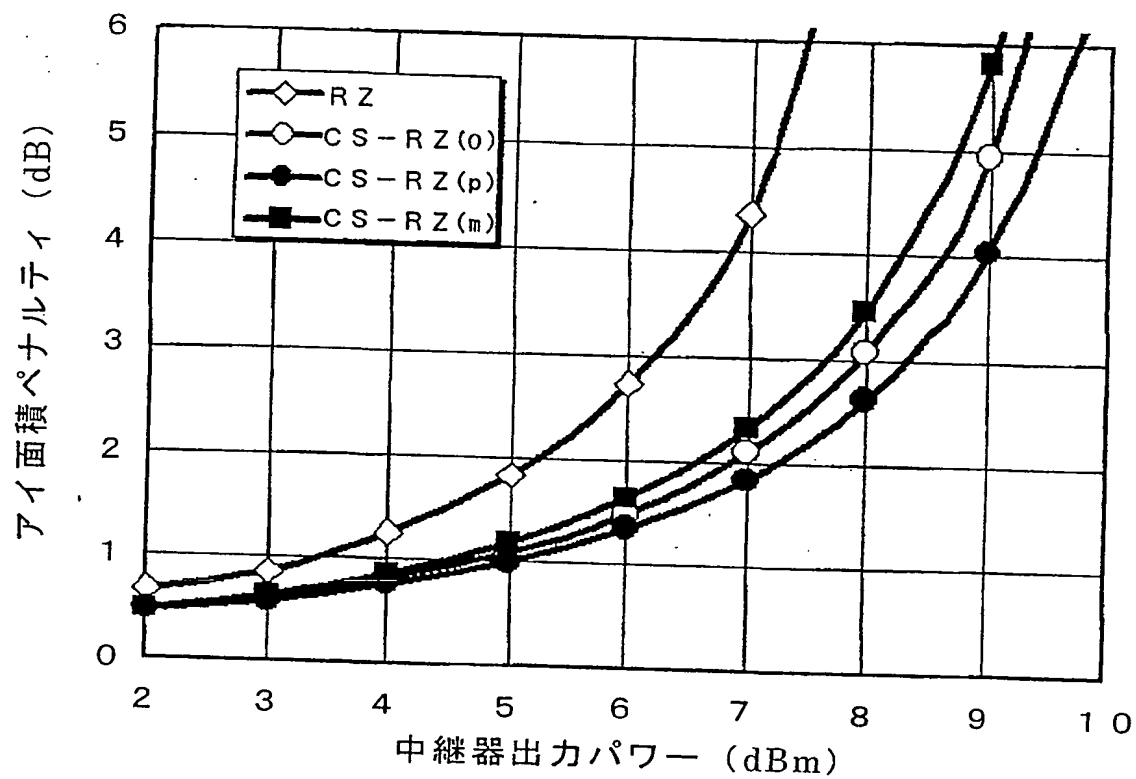


図 5



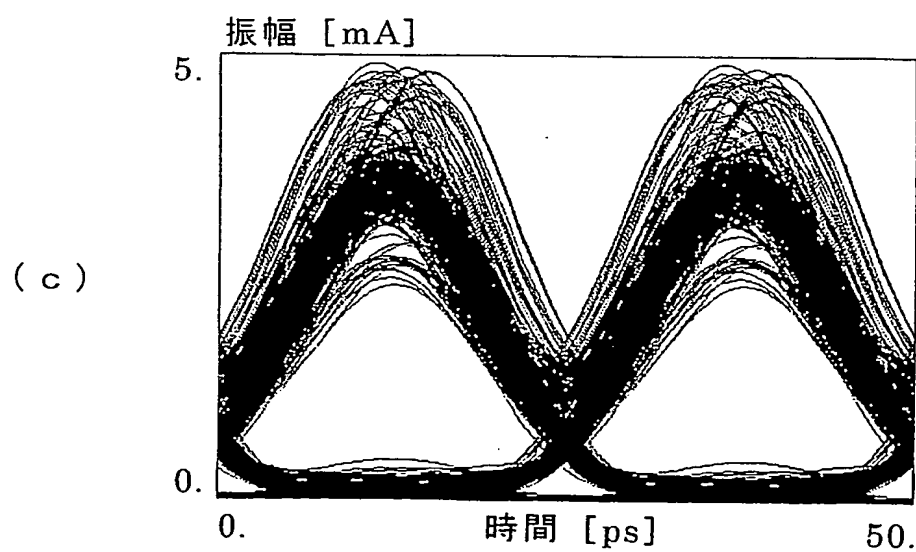
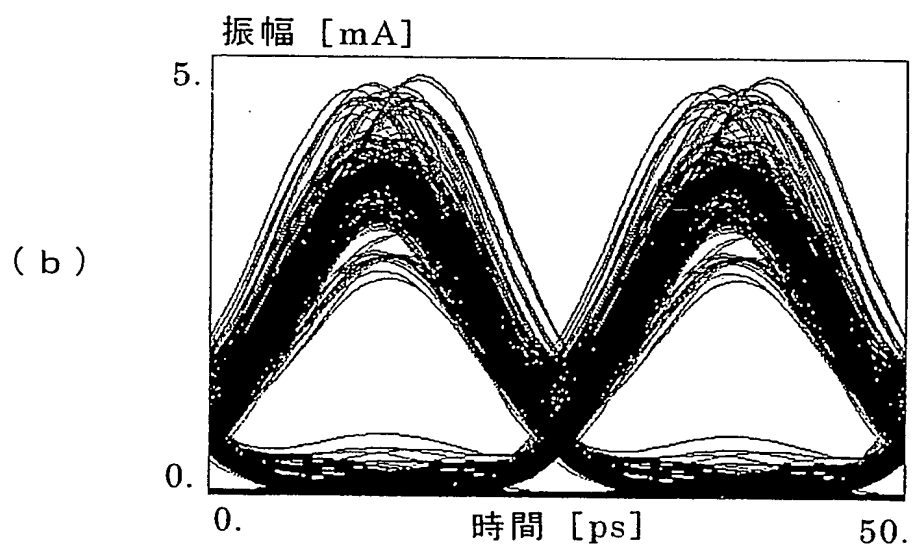
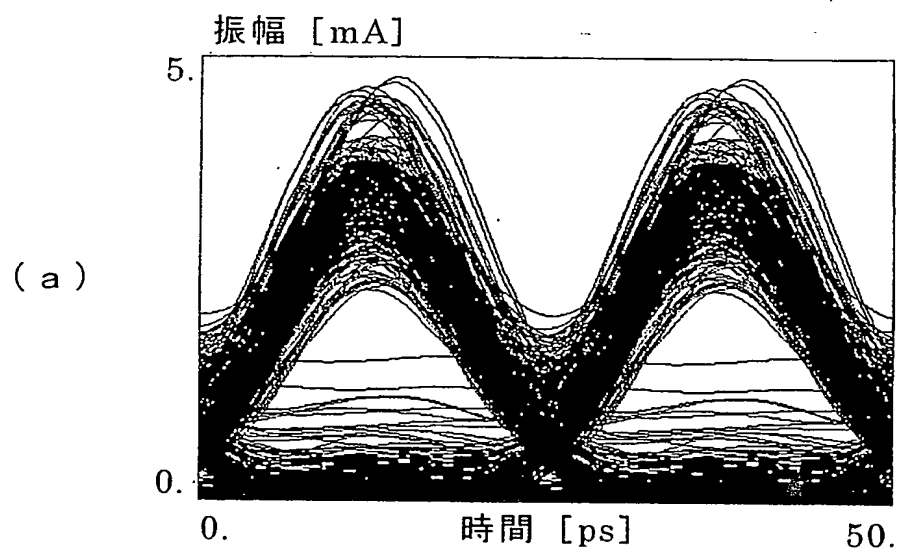
4 / 11

図 6



5/ 11

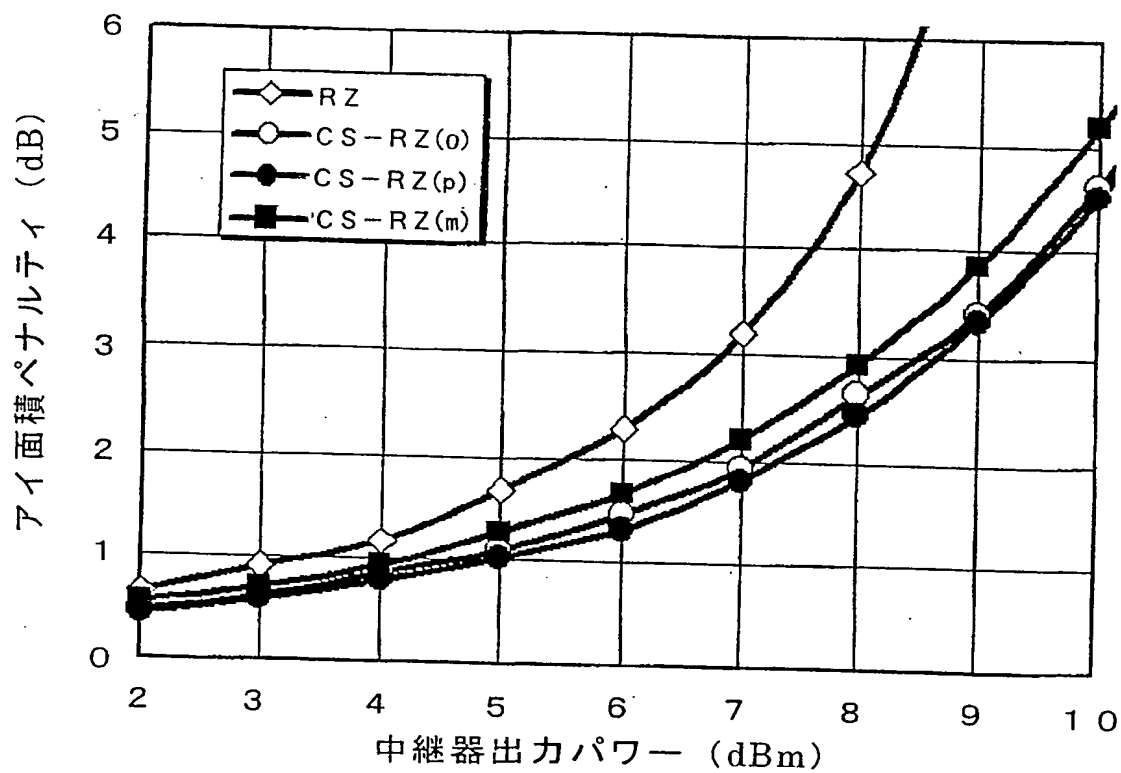
図 7



差替え用紙 (規則26)

6 / 11

図 8



7 / 11

図 9

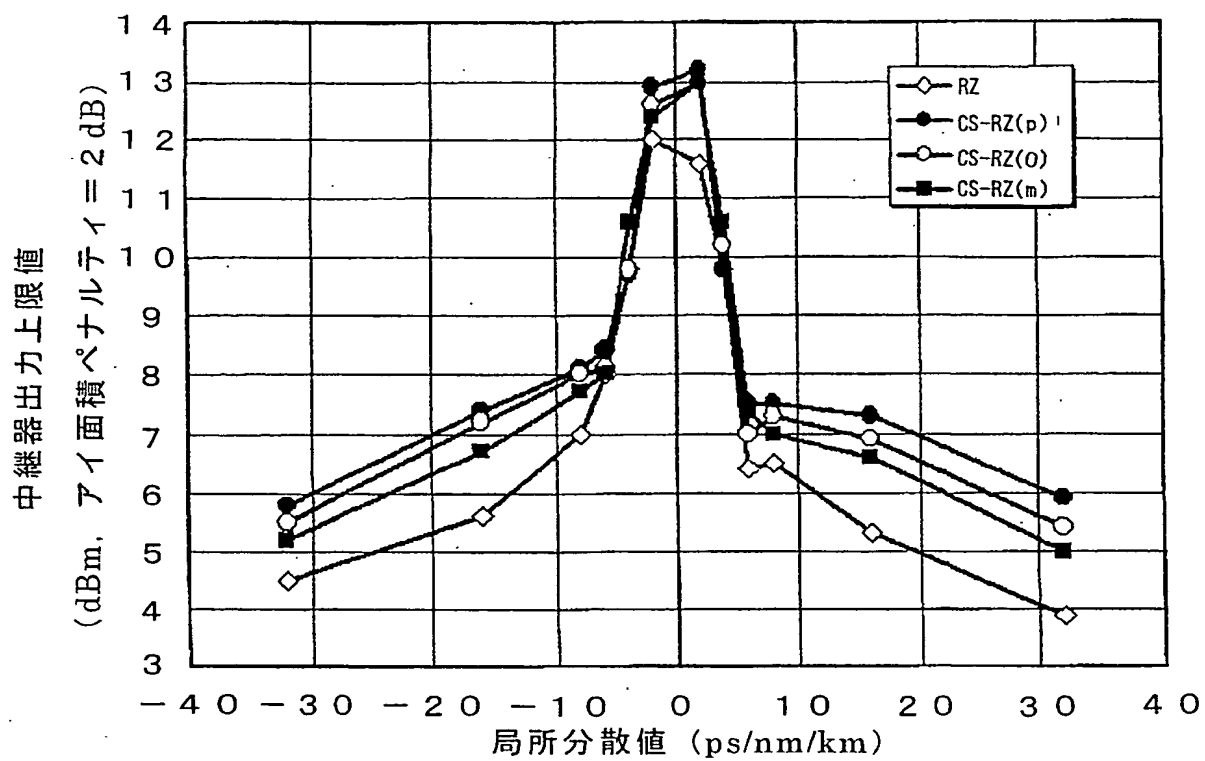
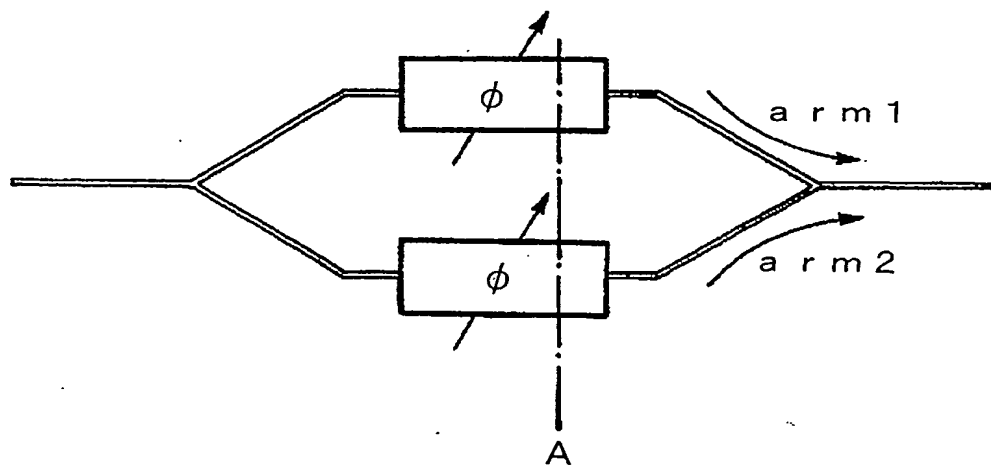
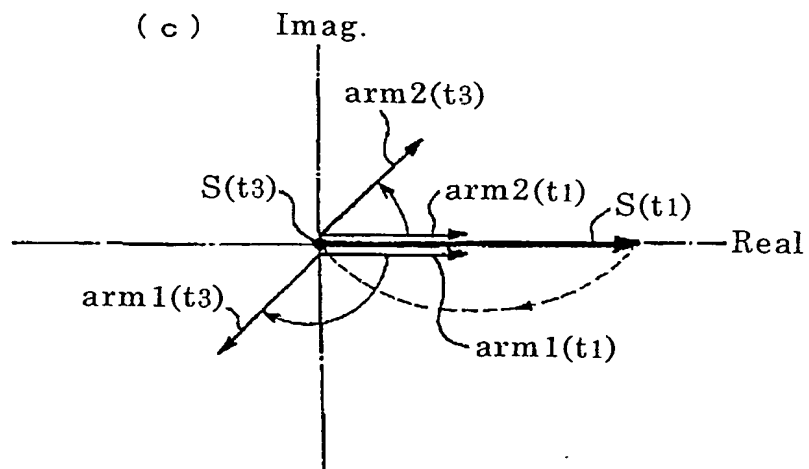
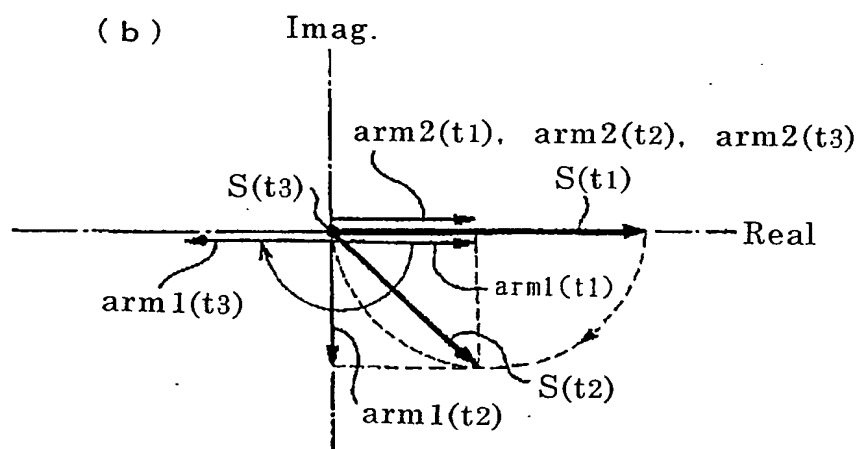
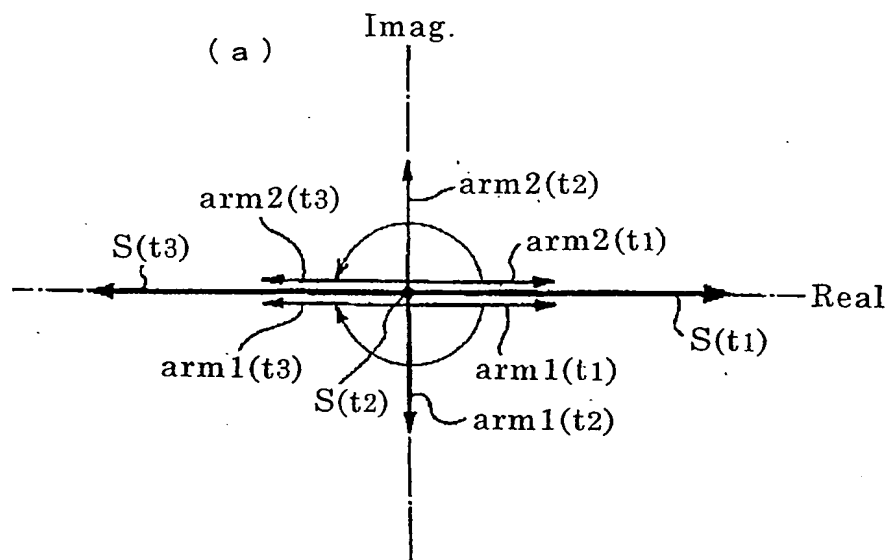


図 10



8 / 11

☒ 1 1



9 / 11

図 1 2

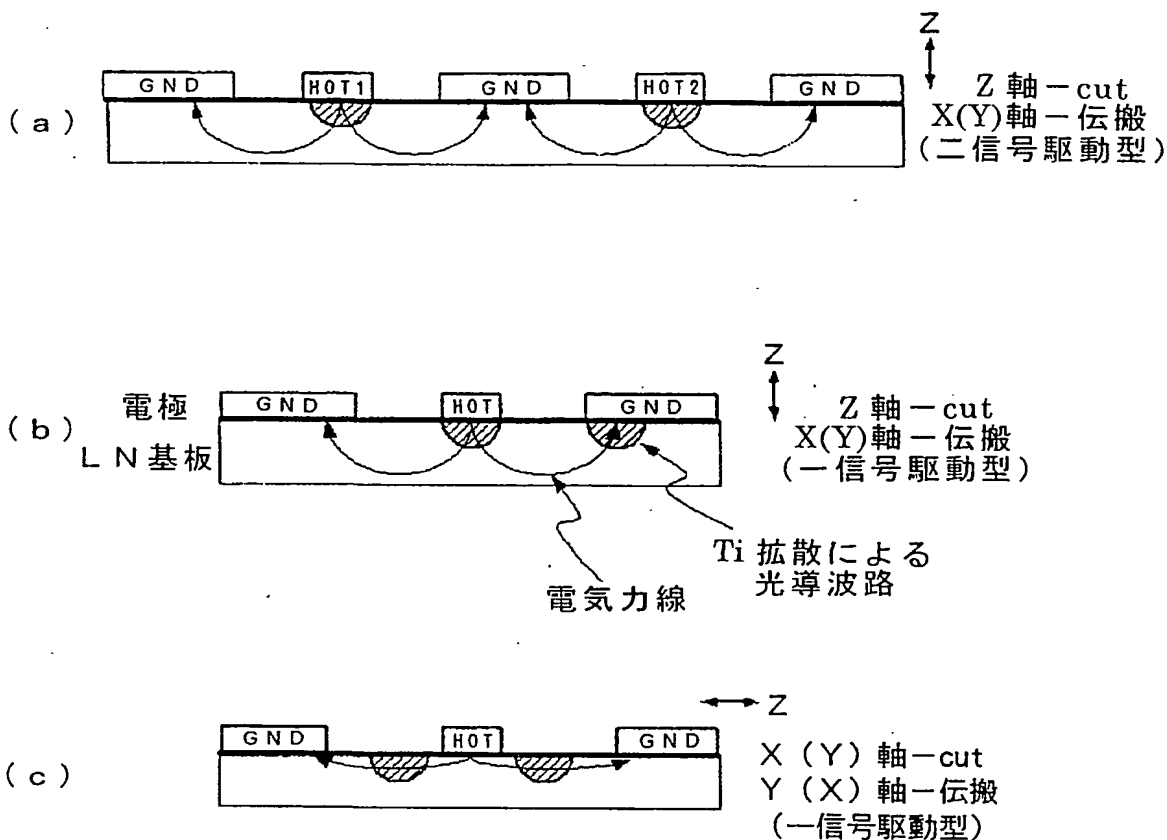
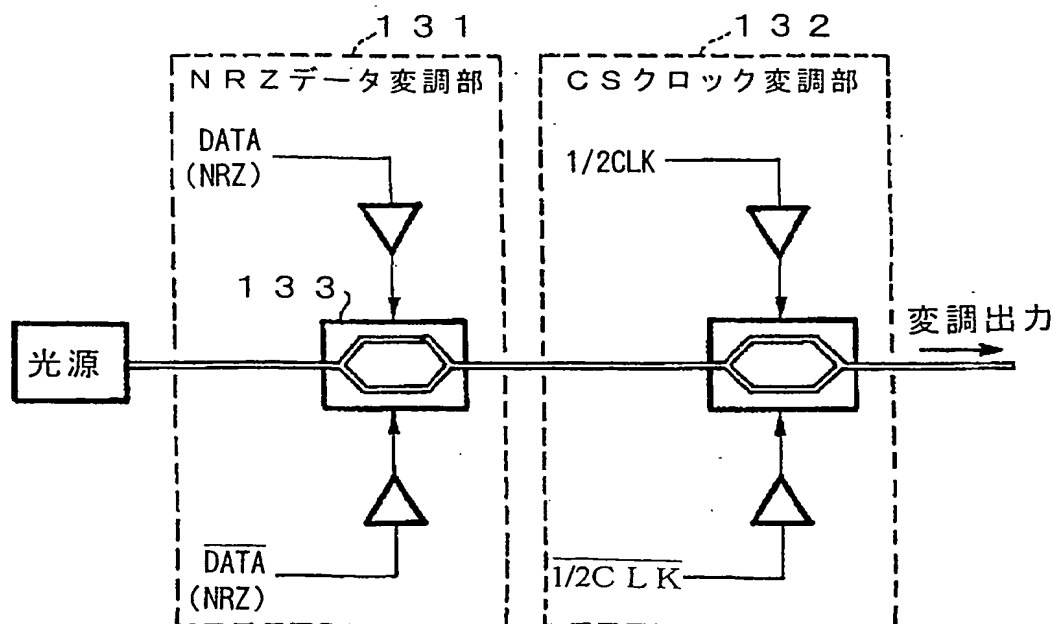
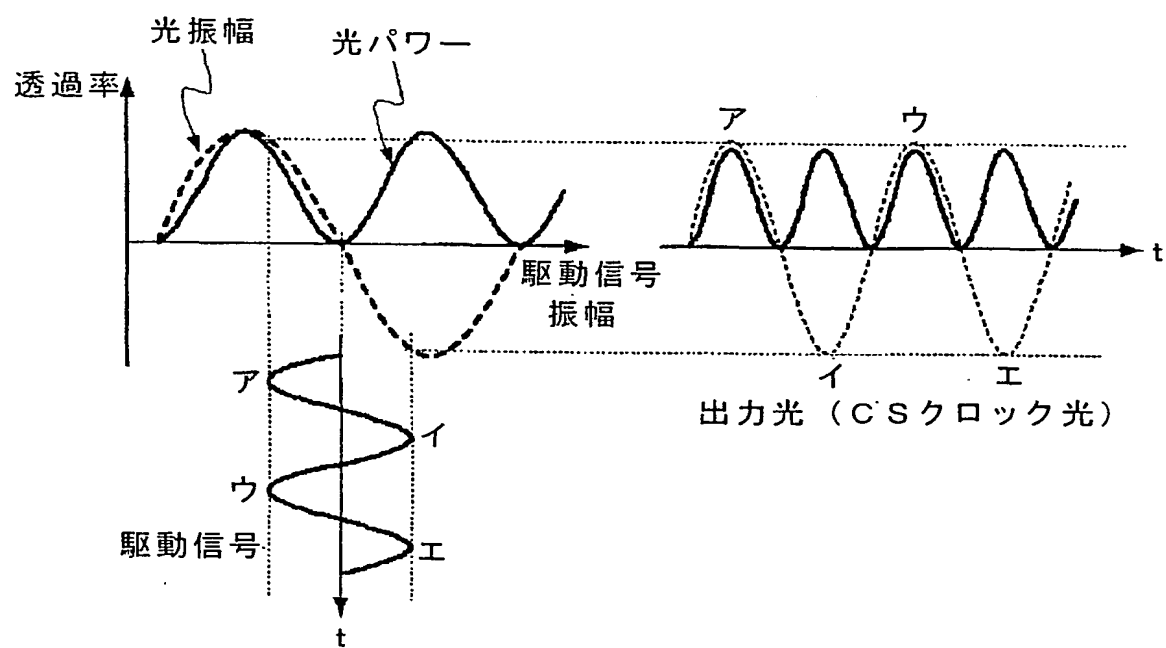


図 1 3



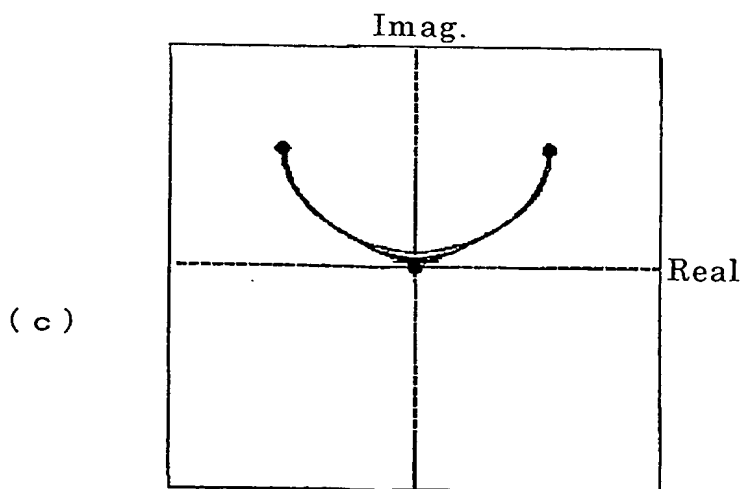
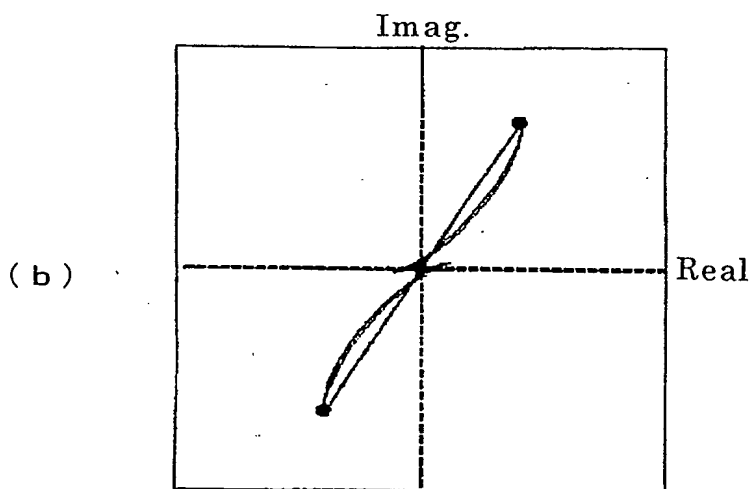
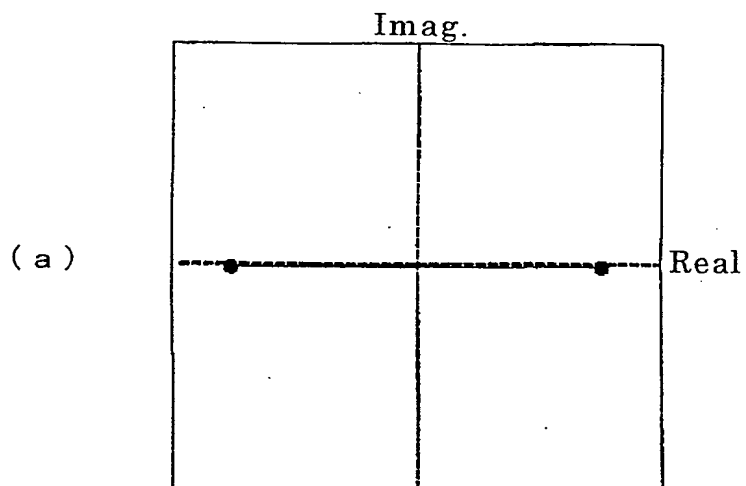
10 / 11

図 14



11 / 11

☒ 1 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/05763

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04B10/18, H04B10/02, G02F 1/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08, G02F 1/01

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2001	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	A. HIRANO et al., "40Gbit/s L-band transmission experiment using SPM-tolerant carrier-suppressed RZ format", Electronics Letters, IEEE, 9 th December, 1999, Vol.35, No.25, pages 2213 to 2215	1-12
Y	JP 10-285144 A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 23 October, 1998 (23.10.98), Full text; all drawings (Family: none)	1
Y	JP 10-79705 A (Fujitsu Limited), 24 March, 1998 (24.03.98), Full text; all drawings & GB 2316821 A & US 5926297 A	1, 2, 8
Y	Akihide SANO et al., "Pri-chirp to Bunsan Management ni yori SPM/XPM wo Yokuatsu shita 40Gbit/s/ch WDM Denso, "Denshi Joho Tsuushin Gakkai Gijutsu Kenkyu Houkoku", Hikari Tsuushin System, Denshi Joho Tsuushin Gakkai, 16 June, 2000, Vol.100, No.129, pages 49 to 54	12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 September, 2001 (19.09.01)Date of mailing of the international search report
02 October, 2001 (02.10.01)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04B10/18
H04B10/02
G02F 1/01

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04B10/00-10/28
H04J14/00-14/08
G02F 1/01

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2001年
日本国登録実用新案公報 1994-2001年
日本国実用新案登録公報 1996-2001年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	A. HIRANO et al. 40Gbit/s L-band transmission experiment using SPM-tolerant carrier-suppressed RZ format, ELECTRONICS LETTERS, IEEE, 9th December 1999, Vol. 35, No. 25, p. 2213-2215	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19.09.01

国際調査報告の発送日

02.10.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

江口 能弘

5 J

9855

電話番号 03-3581-1101 内線 3534

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-285144 A (国際電信電話株式会社) 23. 10月. 1998 (23. 10. 98) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1
Y	JP 10-79705 A (富士通株式会社) 24. 3月. 1998 (24. 03. 98) 全文, 全図 & GB 2316821 A & US 5926297 A	1, 2, 8
Y	佐野明秀他, プリチャープと分散マネジメントにより SPM/XPMを抑圧した40Gbit/s/ch WDM伝送, 電子情報通信学会技術研究報告, 光通信システム, 電子情報通信学会, 16. 6月. 2000, Vol. 100, No. 129, p. 49-54	12